



Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Manufatura



ISRAEL DE PAULA TEIXEIRA

DIGITALIZAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS
COMO FERRAMENTA PARA AUMENTO DE EFICIÊNCIA
OPERACIONAL E ENERGÉTICA

CURITIBA
2020

ISRAEL DE PAULA TEIXEIRA

**DIGITALIZAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS
COMO FERRAMENTA PARA AUMENTO DE EFICIÊNCIA
OPERACIONAL E ENERGÉTICA**

Monografia apresentada como resultado parcial à obtenção do grau de especialista em Engenharia Industrial 4.0. Curso de Pós graduação em Engenharia Industrial 4.0, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Deivid Valle

**CURITIBA
2020**

RESUMO

Com a crescente demanda por soluções de IoT e eficiência energética, diversas iniciativas e modelos tecnológicos têm se apresentado, cada qual com maiores ou menores graus de qualidade, escalabilidade, custo e eficácia. A maior parte das indústrias tem preferência por soluções padronizadas, pois deseja evitar o alto custo associado ao desenvolvimento de projetos exclusivos, porém também preza pelo atendimento às particularidades de cada negócio e aos requisitos de robustez e desempenho já estabelecidos para seus sistemas elétricos e de automação. Nesse contexto, grande parte das empresas brasileiras se encontra ainda insatisfeita ou exitante com relação às alternativas disponíveis, criando assim a oportunidade para o objeto desta pesquisa: a geração de valor para as indústrias a partir da digitalização dos dados de produção e energia, com foco no atendimento a requisitos sólidos de confiabilidade, disponibilidade, interoperabilidade, segurança, tempo de implementação e viabilidade orçamentária. O desenvolvimento se dá a partir de um produto já existente chamado *Multilogger*, desenvolvido e comercializado pela empresa Safety Control, com sede em Curitiba/PR. O equipamento, na sua configuração original, era capaz de realizar medições de energia e produtividade com foco no controle da produção, apresentar índices e valores em telas ao usuário e enviar relatórios por e-mail. A proposta deste desenvolvimento foi atualizar o conceito geral do produto e expandir suas funcionalidades, agregando recursos de inteligência artificial e *machine learning*, e também estender o potencial de utilização do *big data* para ações de manutenção preditiva e aumento da eficiência energética.

Palavras-chave: IoT. BigData. Produção. Eficiência Energética. Manutenção Preditiva.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - CONTROLADOR BASEADO EM ARDUINO	11
FIGURA 2 - CONTROLADOR BASEADO EM RASPBERRY	11
FIGURA 3 - CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL INDUSTRIAL	12
FIGURA 4 - <i>HARDWARE</i> DO MULTILOGGER	13
FIGURA 5 - TELAS DE VISUALIZAÇÃO	14
FIGURA 6 - <i>LAYOUT</i> COM SISTEMAS INDIVIDUAIS	15
FIGURA 7 - <i>LAYOUT</i> COM SITEMA MODULARIZADO	16
FIGURA 8 - EXEMPLO DE TOPOLOGIA	20
FIGURA 9 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO SOFTWARE	22

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	5
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	5
1.3. JUSTIFICATIVA.....	6
1.4. HIPÓTESES	7
1.5. OBJETIVO	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	9
2.1.1. ISO-50001	9
2.2. GESTÃO BASEADA EM DADOS	10
2.2.1. Gestão da Manutenção	11
2.3. <i>HARDWARE</i> DE PROTOTIPAGEM VS. <i>HARDWARE</i> INDUSTRIAL	11
3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	13
3.1. PROJETO PRELIMINAR	13
3.1.1. Modelo Anterior	13
3.1.2. Oportunidades de Melhoria	14
3.2. PROJETO INTERMEDIÁRIO.....	16
3.2.1. Arquitetura do Sistema	16
3.2.2. Funcionalidades Orientadas à Manutenção.....	17
3.2.3. Funcionalidades Orientadas à Eficiência Energética	18
3.3. PROJETO DE DETALHAMENTO	19
3.3.1. Arquitetura de <i>Hardware</i>	20
3.3.2. Arquitetura de <i>Software</i>	21
3.3.3. Construção Física.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5. CONCLUSÕES	26
5.1. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

É crescente o número de empresas no Brasil que já implementou, ou pretende implementar, um sistema de gerenciamento de energia como base para ações de melhoria, inclusive no âmbito da eficiência energética. As razões para tal são diversas, para citar algumas: reconhecimento por *stakeholders* e pela sociedade, pressões internacionais, aumento da competitividade através da redução de custos.

Paralelamente, a gestão baseada em dados pretende ser uma prática tão onipresente e disseminada quanto as tecnologias de digitalização permitirem, e já tem revolucionado os métodos para tomadas de decisão em diversas áreas. A disponibilidade de dados abundantes e confiáveis e a capacidade para interpretá-los devem somar-se ao conhecimento e às habilidades dos gestores, que continuarão a fazer uso de boas ferramentas de gestão para criar os resultados pretendidos, mas agora com o apoio de tecnologias que geram dados provenientes do meio físico, bem como ferramentas de software para previsão e medição dos resultados, fundamentais para esse novo padrão de gerenciamento.

1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Por essas razões, muitos gestores estão empenhados no compromisso de, entre outros objetivos, reduzir as emissões de carbono em suas plantas industriais, e para isso precisam executar ações que vão desde a eliminação de desperdícios pontuais, como vazamentos de ar comprimido e perdas por atrito, até a substituição de processos inteiros por sistemas mais eficientes. É nesse ponto que começam a surgir as perguntas mais pertinentes:

- qual ação deve ser prioritária?
- qual investimento será mais efetivo para redução do consumo?
- que ações podem ser executadas com o orçamento disponível?
- que dados poderiam respaldar as decisões e torná-las mais assertivas?

Essas perguntas convergem para uma realidade cada vez mais presente nas indústrias: a necessidade de realizar uma gestão baseada em dados. Mesmo os

profissionais mais experientes e conhecedores dos processos que gerenciam se utilizam de dados do chão de fábrica e precisam de informações precisas, detalhadas e em tempo real para suportar decisões complexas. Chega-se à conclusão de que um bom projeto de eficiência energética se funde com um bom projeto de digitalização.

Surge então outra pergunta: dentre as diferentes opções tecnológicas para medição de energia e coleta de dados, qual delas possui o melhor conjunto de entregas técnicas em relação aos custos envolvidos?

1.3. JUSTIFICATIVA

Quando se trata de projetos de melhoria, um padrão comportamental dominante é a departamentalização das iniciativas. Mesmo nas empresas onde se mantém um departamento unificado para projetos, os projetos em si comumente se destinam a atender demandas de setores específicos como: Depto. de Manutenção, Depto. de Produção, Depto. de Utilidades. Com isso, é comum encontrar situações onde diferentes departamentos da mesma empresa concorrem pela mesma verba, para atender a objetivos diferentes, usando tecnologias diferentes, porém fazendo uso dos mesmos dados.

Um bom exemplo são as diferentes técnicas para medição das energias elétrica, hidráulica, pneumática, química, etc. utilizadas nos processos produtivos:

- Utilidades precisa fazer o rateio do consumo de energias, como elétrica e ar comprimido, entre os setores abastecidos. A escolha mais econômica é instalar medidores nos pontos desejados e interligá-los em uma rede própria, a partir da qual se obtém os relatórios de consumo de forma centralizada;

- Produção está focado em saber, por exemplo, qual é o consumo de energia por unidade produzida e como esse índice se relaciona com os tempos de máquina parada, além de monitorar variáveis do processo como temperatura, pressão, etc. São projetos que se concentram na expansão das I/O's dos controladores existentes, utilizando a mesma rede da automação para realizar a coleta dos dados. Compartilhar esses dados com outros sistemas, no entanto, pode ser desafiador;

- Manutenção se beneficia de dados históricos de consumo e qualidade de energia para prever possíveis falhas de componentes e aumentar a disponibilidade da

linha. Aqui os multimedidores são úteis para fornecer uma grande variedade de medições, porém a integração e a personalização são complexas ou mesmo inviáveis.

Os três ativos mencionados contribuem para a eficiência operacional e, em maior ou menor grau, também para a eficiência energética. Afinal, é através dos dados operacionais que se identificam as oportunidades de melhoria, que por sua vez ajudam a orientar as prioridades de investimento.

É fácil perceber que seria muito mais eficiente, dos pontos de vista técnico e econômico, se um mesmo sistema realizasse as medições de energia e outras variáveis de forma unificada, porém com possibilidade de exibição e/ou transmissão desses dados em formatos distintos e para diferentes protocolos de rede. Esta é a essência da proposta: gerar dados de produção e energia que podem ser consumidos por diferentes setores da organização, porém sem desrespeitar as políticas definidas para cada nível de acesso. Mais do que isso, utilizando os conceitos da customização em massa, fornecer uma solução que possa se adequar a cada necessidade sem gerar custos desnecessários, permitindo assim que empresas de vários segmentos se beneficiem da gestão baseada em dados.

1.4. HIPÓTESES

Nem todas as indústrias têm potencial de uso de um sistema *plug&play* para medição e coleta de dados. Algumas empresas, tais como Bosch, Electrolux, Mondeléz, entre outras, possuem departamentos de engenharia com foco em inovação bastante estruturados. Elas desenvolvem soluções próprias e personalizadas e podem, até mesmo, fornecer casos de uso relevantes para outros desenvolvedores. Na outra ponta, há empresas que estão deixando que cada departamento execute as ações de forma isolada, o que perigosamente resultará em um esforço de engenharia posterior para integrar sistemas e informações.

Para as demais empresas, que não possuem tal estrutura interna ou não pretendem investir em soluções “engenheiradas” (quando solução é totalmente personalizada porém todo o custo de desenvolvimento é bancado pela empresa), pode-se fornecer sistemas de digitalização voltados para o gerenciamento multissetorial através de alguns caminhos:

- a) Desenvolver o próprio portfólio de hardware e software a partir de componentes de mercado ou de kits pré-desenvolvidos, como Arduino e Raspberry Pi, integrando dispositivos de campo com serviços em nuvem, sendo estes responsáveis pelas tarefas de maior custo computacional. Iniciativas independentes ou como projetos dentro de empresas têm surgido a partir da premissa de que um hardware de baixo custo é a chave para tornar a solução mais atrativa e escalável, viabilizando-se por um custo inicial também relativamente baixo para o desenvolvimento.
- b) Utilizar equipamentos já certificados para as diferentes áreas industriais e com infraestrutura de conectividade e segurança cibernética já desenvolvida pelo fabricante, direcionando o foco da equipe para outros desenvolvimentos como: algoritmos de *machine learning* específicos para cada tipo de máquina e integração com sistemas de automação, serviços em nuvem, MES e ERP, aproveitando sensores e protocolos de rede já existentes.

Ambas as hipóteses devem encontrar nichos de mercado com potencial de sucesso. Observa-se que na alternativa 'A' há uma chance maior de complicações por mudanças de escopo e requisitos, barreiras legais ou de regulamentação interna, além de problemas operacionais por indisponibilidade ou incompatibilidade. Este estudo se concentra na alternativa 'B', que por sua vez, terá mais negativas por restrições orçamentárias, porém proporciona um ambiente de negócios com muito menos riscos e maior chance de aceitação pelas empresas com bom potencial de investimento. É também a alternativa com mais concorrentes potenciais, por isso o desenvolvimento da solução é fundamental para criar diferenciais de competitividade.

1.5. OBJETIVO

A partir de um sistema de digitalização existente, projetado para interagir com uma máquina de cada vez, desenvolver uma nova versão mais flexível e customizável, com módulos capazes de digitalizar processos com dezenas de sensores e com até 6 pontos de medição de energia, aproveitando 100% da capacidade do hardware. Além de apresentar relatórios, gráficos e pelo menos 15 funções de análise de dados,

executar ações automáticas e algoritmos de inteligência artificial, com foco na utilização dos dados para fins de manutenção, controle da produção e eficiência energética. Prever ainda a interação colaborativa de vários módulos com uma única base de dados, permitindo comparar e gerenciar centenas de ativos em um mesmo sistema.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A pauta da eficiência energética tem feito parte do planejamento das empresas brasileiras já há algumas décadas. Prova disso é que o Brasil melhorou a eficiência energética em 14% no período de 2005 a 2018 (GODOI, 2020). Ainda assim, a busca por melhorias que tornem os processos industriais mais eficientes continua em franca expansão e as ações para diminuição do impacto ambiental são cada vez mais urgentes.

Segundo Lima (2012), as pequenas e médias empresas são as que mais precisam de apoio para conseguir se manter competitivas frente a esse desafio, em boa parte devido à carência de profissionais que saibam enxergar as oportunidades de redução de consumo de energia.

2.1.1. ISO-50001

A norma ISO-50001, publicada em 2011 e atualizada em 2018, permanece como a principal referência para as empresas que querem implementar sistemas de gerenciamento de energia, mesmo quando não têm a pretensão de obter a certificação da norma no horizonte tangível, pois ela é considerada um meio seguro para se promover ações de eficiência energética (GIRARDI, 2019). A norma estabelece as seguintes exigências para as organizações que desejam estruturar seus esforços nesse sentido:

- Desenvolver uma política para o uso mais eficiente da energia;
- Fixar metas e objetivos para atender a essa política;
- Usar dados para melhor compreender e tomar decisões sobre o uso de energia;
- Medir os resultados;

- Rever como a política funciona;
- Melhorar continuamente a gestão da energia.

Por utilizar o modelo PDCA, a aplicação da norma implica em meios permanentes de medição de desempenho, algo que precisa ser levado em conta na hora de escolher as tecnologias que irão abastecer as ferramentas de gerenciamento com dados do processo produtivo.

2.2. GESTÃO BASEADA EM DADOS

Já dizia Peter Drucker, que é considerado o “pai” da administração moderna: “Se você não pode medir, não pode gerenciar” (SILVESTRE, 2018). O advento das tecnologias de Internet das Coisas – *IoT* e *Analytics* tem levado essa afirmação às últimas consequências, não apenas pela enorme quantidade de dados que se pode obter dos ativos, mas pela capacidade de transformar esses dados em inteligência de negócios (ATECH, 2019).

Mas colocar essa ideia em prática não é tão natural quanto aceitá-la. Implantar uma gestão baseada em dados requer uma metodologia coerente com os resultados esperados, passando inclusive pela definição de quais são os resultados esperados, pois essa premissa irá determinar uma sequência de outras escolhas. Ainda conforme a Atech (2019), empresa do grupo Embraer, uma boa estratégia é elaborar uma matriz de criticidade para os ativos a serem monitorados, dividindo-os em três categorias:

- a) Equipamentos Classe A (ou Grau 1) – Equipamentos que interrompam o processo de produção ou que causem transtornos, reduzindo a capacidade produtiva e impactando a qualidade e/ou custos dos produtos. São caracterizados como equipamentos de risco operacional.
- b) Equipamentos Classe B (ou Grau 2) – Equipamentos que embora importantes para o processo produtivo não causam paradas e nem transtornos significativos. Sua parada não traz consequências importantes ao produto ou serviço final. São caracterizados como equipamentos importantes para o processo produtivo.
- c) Equipamentos Classe C (ou Grau 3) – Equipamentos necessários ao processo produtivo, mas que não trazem nenhum transtorno. São equipamentos de fácil substituição e a sua manutenção pode ser realizada de forma tranquila. São caracterizados como equipamentos necessários ao processo produtivo.

2.2.1. Gestão da Manutenção

Assim como as ações de eficiência energética, a gestão baseada em dados promove a competitividade das empresas, porém tem uma ênfase maior na redução de custos com manutenção e no aumento considerável da disponibilidade dos ativos (VIEIRA, 2019). Dados relevantes para a gestão da manutenção podem se traduzir tanto como alarmes inteligentes, que avisam em tempo real sobre ocorrências de falhas, como na forma de previsões que baseiam as estratégias de manutenção preditiva. Vieira (2019) também afirma que é preciso reunir os dados de múltiplas fontes em uma única base de dados, organizá-los e categorizá-los de maneira uniforme, para que possam ser acessados com facilidade pelas pessoas que utilizarão esses dados na gestão dos ativos.

2.3. *HARDWARE DE PROTOTIPAGEM VS. HARDWARE INDUSTRIAL*

Uma dúvida que costuma permear o ambiente de desenvolvimento de projetos é sobre o quanto se deve investir na confiabilidade dos equipamentos utilizados. Dos sensores aos controladores, há uma gama variada de categorias e níveis de qualidade dentro de cada categoria. Conforme explica Alves (2019), existem casos de uso industrial de placas de desenvolvimento, como Arduino e Raspberry Pi, em aplicações como coleta de dados de sensores, interface com máquinas legadas e automação de testes, contando inclusive com versões comerciais de aparência orientada a instalações industriais, como mostram a FIGURA 1 e a FIGURA 2.

FIGURA 1 - CONTROLADOR BASEADO EM ARDUINO



FONTE: CONTROLLINO (2020)

FIGURA 2 - CONTROLADOR BASEADO EM RASPBERRY



FONTE: SFERALABS (2020)

No entanto, Alves (2019) ressalta que essas placas não foram desenvolvidas para uso em ambientes industriais, não possuem as certificações necessárias e não são robustas o bastante para suportar as intempéries. Em contrapartida, os CLP's (Controladores Lógicos Programáveis), como exemplificado na FIGURA 3, possuem proteção contra ESD (descargas eletrostáticas), sujeira, vibração, ruídos na rede elétrica, e foram testados por anos para se chegar ao grau de confiabilidade exigido.

FIGURA 3 - CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL INDUSTRIAL



FONTE: WAGO DIRECT (2020)

Ainda segundo Alves (2019), tecnicamente é possível preparar uma placa como a Raspberry Pi com proteções adequadas que a habilitariam à aplicação industrial, porém o custo seria possivelmente o mesmo de usar um CLP que já tem todas as proteções incorporadas.

Não se enseja aqui desencorajar o desenvolvimento de projetos utilizando as referidas plataformas, sobretudo para fins de qualificação profissional e mesmo para as etapas de desenvolvimento em usos industriais, afinal, a aquisição de um *hardware* mais oneroso muitas vezes fica condicionada a validações de desempenho e compatibilidade entre componentes de *software*, sistemas operacionais e protocolos de comunicação, o que muitas vezes pode prescindir de equipamentos industriais, fazendo das placas de prototipagem boas opções para provas de conceito e projetos piloto (BENEDICT, 2018). O uso em equipamentos comerciais, entretanto, requer disponibilidade a longo prazo, escalabilidade e confiabilidade (AGGAWAL, 2019).

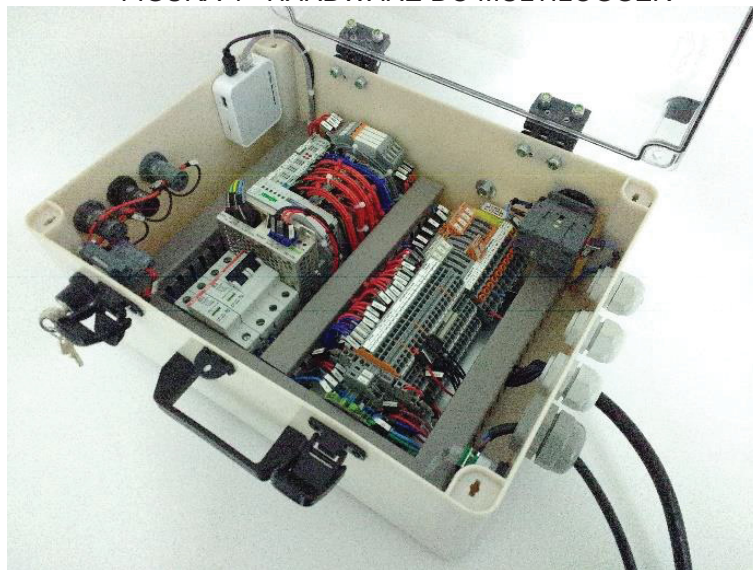
3. METODOLOGIA E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

3.1. PROJETO PRELIMINAR

3.1.1. Modelo Anterior

Fisicamente, o conceito preliminar do produto utilizava uma caixa de polcarbonato com porta transparente, como demonstra a FIGURA 4:

FIGURA 4 - *HARDWARE* DO MULTILOGGER

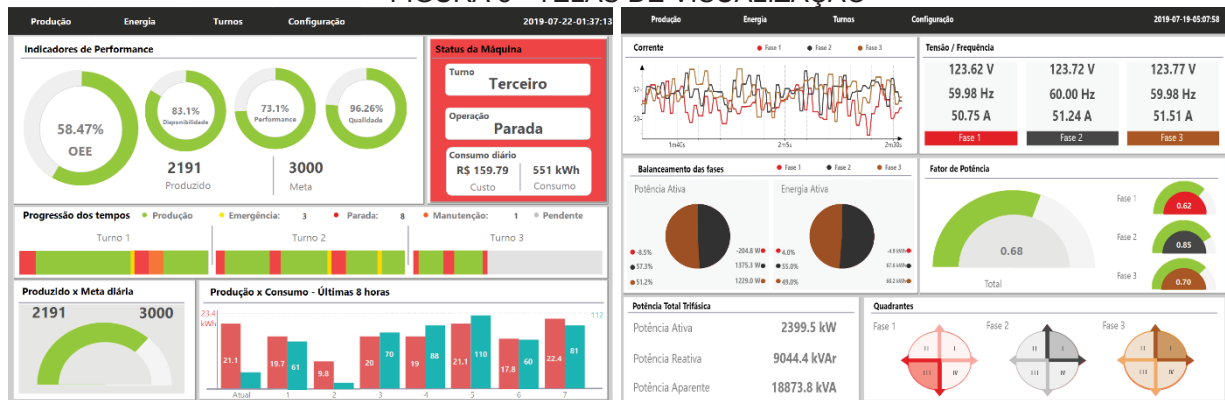


FONTE: SAFETY CONTROL (2017)

A composição do *hardware* englobava uma CPU Wago PFC100, que já possui funções de IoT e segurança cibernética incorporadas, módulos do mesmo fabricante para medição de energia elétrica trifásica, entradas e saídas digitais e entradas analógicas, além de um *gateway wireless* para comunicação.

Na configuração de software, que inclui telas para interface do usuário como mostrado na FIGURA 5, vemos que a disposição dos dados era organizada em função dos turnos de produção, comparando unidades produzidas e consumo de energia. A tela para acompanhamento das variáveis de energia elétrica era mais direcionada para acompanhamento dos valores atuais.

FIGURA 5 - TELAS DE VISUALIZAÇÃO



FONTE: SAFETY CONTROL (2017)

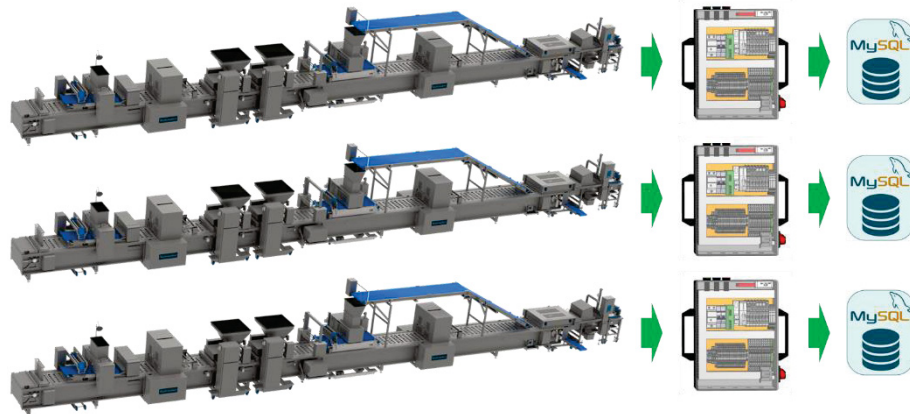
Todas as variáveis eram registradas para formar um *big data*, incrementado a cada 5 segundos e armazenado localmente em um banco de dados MySQL. Ao final de cada dia, os registros das últimas 24h poderiam ser enviados automaticamente para um endereço de e-mail configurado previamente.

3.1.2. Oportunidades de Melhoria

A partir de diferentes fontes de informação como: apontamentos feitos pelos próprios usuários, conhecimentos adquiridos durante a especialização na UFPR e a observação das tendências do mercado, possibilidades importantes de melhoria foram identificadas.

A concepção inicial da finalidade do produto era traçar um perfil de consumo x produtividade e realizar o levantamento de OEE (*overall equipment effectiveness*) de uma máquina ou linha de produção em diferentes momentos. Uma vez realizada essa tarefa, que poderia durar de 1 a 4 semanas, o sistema era transferido para outra máquina a fim de realizar as mesmas medições e assim sucessivamente até que o gestor da produção tivesse em mãos os dados de produtividade de toda a planta industrial. Caso se desejasse acelerar o tempo de resposta dos resultados, era preciso multiplicar a quantidade de sistemas na mesma planta, conforme indicado no *layout* da FIGURA 6, mas isso significava multiplicar na mesma proporção o custo do projeto e a complexidade para extrair e analisar os dados.

FIGURA 6 - LAYOUT COM SISTEMAS INDIVIDUAIS



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

De fato, o uso de múltiplas unidades gerava uma subutilização dos recursos de processamento e conectividade do *hardware*. Havia também uma subutilização do potencial de aproveitamento dos dados pois, como mencionado anteriormente, os dados de produção e energia poderiam ser utilizados para finalidades de manutenção preditiva e ações de eficiência energética, mas para isso as instalações não poderiam ser transitórias como inicialmente foi planejado. Também no sentido de reuso dos dados, era preciso expandir a quantidade de variáveis armazenadas, valores esses que já estavam sendo medidos, mas que eram descartados devido ao foco dos resultados estar direcionado apenas para o controle da produção.

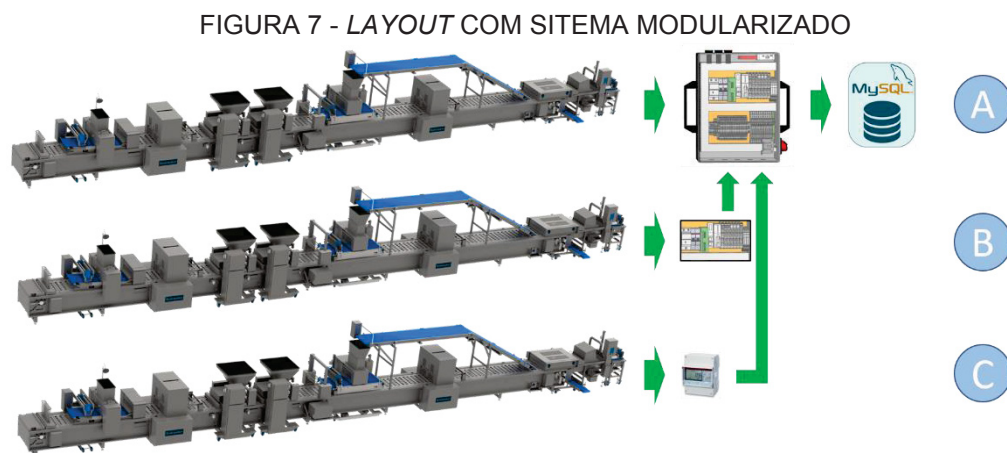
Embora a integração com ferramentas de análise de dados já fosse possível a partir do banco de dados gerado pelo sistema, esse fluxo de trabalho não estava automatizado e exigia do usuário conhecimentos específicos para separar e organizar adequadamente os dados e também uma tarefa repetitiva para executar as ferramentas de análise. Uma vez que o *hardware* utilizado já possuía os recursos para publicação em nuvem via protocolo MQTT, essa funcionalidade poderia ser agregada sem custos adicionais.

Uma necessidade adjacente de melhoria estava na própria formulação física do produto, pois o invólucro de policarbonato, concebido para proporcionar menor peso e facilidade de visualização, era inadequado em áreas alimentícias ou em ambientes industriais mais agressivos.

3.2. PROJETO INTERMEDIÁRIO

3.2.1. Arquitetura do Sistema

Com base nas oportunidades identificadas, a primeira ação foi repensar a arquitetura do sistema para viabilizar o uso permanente e descentralizado das medições de campo. Isso significava não apenas remodelar o conjunto de *hardware* para uma instalação mais modularizada, mas também retrabalhar as interfaces para permitir o acompanhamento de múltiplas fontes de dados. O novo conceito, representado na FIGURA 7, mostra o mesmo ambiente da FIGURA 6, agora prevendo a descentralização das medições com a centralização do *big data*:



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

A nova configuração implica em três mudanças importantes:

- 1) Na primeira linha (A), o sistema precisa registrar as medições de todas as linhas, diminuindo a subutilização de processamento citada anteriormente. Isso proporciona uma significativa redução no custo dos projetos pois, em (B), uma unidade remota equipada com os mesmos módulos de (A) realiza as medições, porém não executa processamento; apenas direciona os dados para (A).
- 2) Em (C) temos um novo elemento: uma fonte de dados pré-existente na planta sendo aproveitada para composição do *big data*. Nessa categoria se enquadram multimedidores, inversores de frequência, sensores de corrente, entre outros. A utilização de recursos pré-existentes potencializa ainda mais a eficiência econômica das implementações, porém demanda mais investimento para o desenvolvimento do software, pois este deve prever mais interfaces de

comunicação e a normalização de dados entre fontes diferentes. Na maioria dos casos essa comunicação se dá em protocolo Modbus ou M-bus, embora a flexibilidade dos módulos Wago permita o uso de mais de 20 protocolos industriais; ainda assim é necessário criar uma biblioteca de equipamentos compatíveis, o que vem sendo feito de forma gradual e ocasionalmente sob demanda.

- 3) A centralização dos dados em um banco único representa uma série de vantagens para o sistema e para o usuário, pois a CPU, que agora também é centralizada, ganha o potencial de fazer o cruzamento de eventos do sistema, gerar dados secundários a partir da comparação entre as diferentes linhas de produção, mostrar dados consolidados, sincronizar os registros das medições e evitar a geração de dados duplicados. O usuário também terá mais facilidade para importar dados e executar ferramentas de análise independentes sem o trabalho extra de reunir dados de bancos diferentes.

3.2.2. Funcionalidades Orientadas à Manutenção

As novas funcionalidades do *software* embarcado se estendem para muito além das exigidas pela mudança de arquitetura. Embora a maior parte dos dados seja de interesse comum a diferentes setores da organização, como já foi abordado, algumas funções são mais específicas.

É o caso do registro de eventos, por exemplo. Se o sistema automaticamente registra os valores de tensão e corrente a cada 5 segundos, ou mesmo a cada 1 segundo, eventuais picos de tensão ou corrente que ocorrerem no intervalo entre dois registros serão ignorados pelo banco de dados. No entanto, os módulos de medição executam centenas de leituras por segundo e isso permitiu criar um registro paralelo à linha temporal apenas para registrar eventos de interesse. Dessa forma, quando ocorre uma parada de máquina inesperada a equipe de manutenção é automaticamente informada se aquela falha coincide com alguma anomalia elétrica e quais são os valores registrados no evento, facilitando a identificação da causa de eventuais problemas.

Outra funcionalidade que pode prevenir diversos tipos de falha é a execução automática de algoritmos de predição. Exemplos: identificar uma tendência de alta na temperatura de um rolamento, identificar uma rampa de queda na pressão da linha

pneumática, prever a evolução no consumo de energia de uma bomba em função do desgaste mecânico. Aqui se encontra um diferencial: normalmente esses algoritmos seriam executados por servidores locais ou serviços em nuvem, implicando em todo o tempo de resposta e os custos computacionais envolvidos na estrutura, sem mencionar a possibilidade de eventuais instabilidades. No entanto, como as CPUs Wago executam um sistema operacional *Linux-RT* sobre uma plataforma *ARM32-v7*, isso possibilitou executar funções *Python* diretamente no *hardware* do sistema para dar prioridade de resposta às funções mais leves porém mais críticas, aumentando a confiabilidade sem prejuízo das demais funções. Naturalmente, é preciso conhecer previamente as vulnerabilidades de cada tipo de máquina para configurar as ações do sistema orientadas à predição de falhas.

3.2.3. Funcionalidades Orientadas à Eficiência Energética

A simples comparação entre consumo de energia e quantidade produzida em uma máquina já constitui informação relevante para orientar algumas ações, seja pelo aumento relativo do consumo, que implica em ações corretivas de desempenho da máquina, seja pela comparação com máquinas semelhantes, que pode orientar trocas de componentes, mudança de *layout*, ajustes de parâmetros, etc.

Entretanto, para suportar medidas mais robustas que visam efetivamente reduzir o consumo de energia elétrica, como a substituição de motores elétricos por modelos mais eficientes e a instalação de *soft-starters* e inversores de frequência, o *big data* do sistema conta com dados mais completos, como ângulo de fase, fator de potência, desbalanceamento e harmônicas. A disponibilidade dessas medições, cobrindo um intervalo significativo de tempo, fornece a matéria prima para cálculos bastante realistas, os quais irão determinar o tempo de retorno dos investimentos ou mesmo determinar qual investimento deve ser feito. Dois exemplos ilustram bem essa utilidade:

- a) Ao integrar os valores de fator de potência, medidos diretamente sobre o motor de um transportador de correia com carga variável, foi possível:
 - aferir que o dimensionamento do motor estava correto;
 - estimar com relativa precisão qual seria a economia de energia após a instalação de um inversor de frequência com controle vetorial;
 - caso fosse mais vantajoso instalar uma *soft-starter*, as medições permitiriam dimensioná-la corretamente com base no número de partidas por hora.

- b) Elevadores de guincho e bobinadeiras de papel são alguns exemplos entre os vários tipos de máquina onde é possível recuperar uma quantidade muito significativa de energia utilizando inversores de frequência regenerativos. No entanto, o preço elevado desses inversores torna difícil a decisão de investimento. Ao obter medições precisas de cada ciclo de trabalho de um elevador em suas condições reais de uso, os cálculos sobre a real economia de energia prevista e o retorno do investimento foram realizados com mais segurança. A quantificação dessas variáveis foi fator determinante na definição das escolhas.

Além de dar suporte aos projetos e ações de melhoria, a medição de variáveis elétricas, associada ao registro de eventos e alarmes, pode ser usada para automação de recursos voltados à eficiência energética. É o caso do controle de demanda de energia elétrica: ao identificar que a demanda de consumo da planta se aproxima do limite contratual, o sistema pode interagir com os disjuntores da planta para executar o descarte de cargas secundárias, evitando multas junto à concessionária de energia ou protegendo geradores de sobrecargas, ou ainda atuar no comando de chaves de transferência automática para manter a disponibilidade de alimentação elétrica.

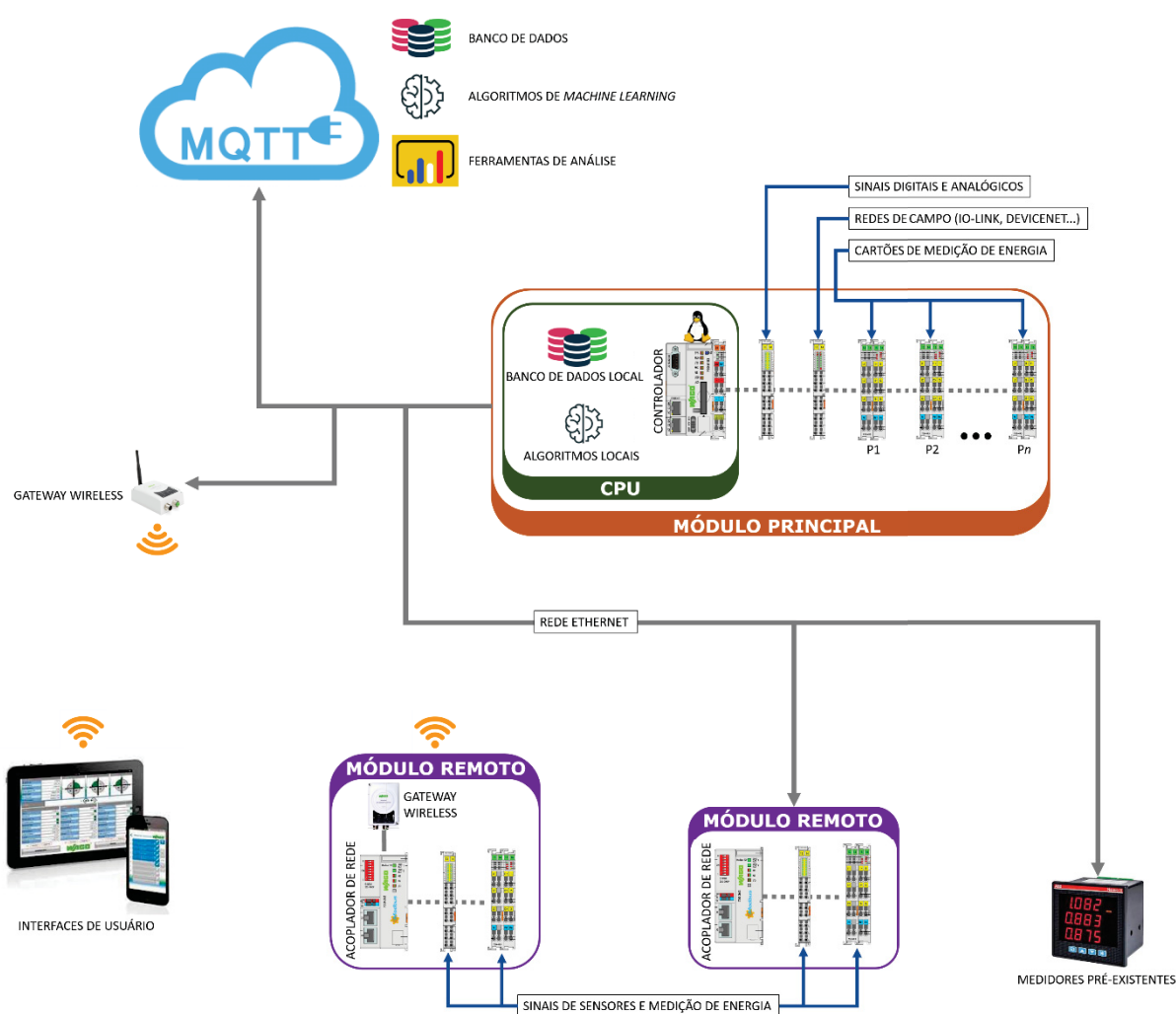
3.3. PROJETO DE DETALHAMENTO

Definidas as funcionalidades para atender aos possíveis escopos de utilização, fatores secundários relativos às diferentes possibilidades de topologia de rede e aos diferentes fluxos de informação tiveram que ser pré-configurados no software pois, partindo da premissa de que o sistema se apresenta ao mercado como produto e não como projeto de engenharia, todas as adaptações solicitadas pelo usuário precisam ser feitas seguindo os princípios da customização em massa. Na prática, o *hardware* totalmente modular facilita a personalização física, porém para cada combinação de componentes é necessário criar um *firmware* específico, o que envolve atividades de programação, testes de validação e criação de uma documentação coerente com cada modelo. Essa variedade de opções pode ser incrementada gradualmente, no entanto não deve ultrapassar algumas dezenas de combinações, sob risco de gerar um custo incompatível de desenvolvimento.

3.3.1. Arquitetura de *Hardware*

A FIGURA 8 apresenta um exemplo de uma das muitas topologias possíveis, considerando algumas das características mais comumente encontradas nos ambientes de produção, como a presença de ambas as áreas com e sem infraestrutura para cabeamento de rede, a necessidade de sensoriamento simples ou múltiplo em cada módulo e o uso de dispositivos móveis para visualização de informações.

FIGURA 8 - EXEMPLO DE TOPOLOGIA



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

A variedade de modelos de controladores, dentro das séries PFC100 e PFC200, todos com códigos de programação reutilizáveis entre si, permitiu que a topologia pudesse se adequar às variações nos requisitos funcionais, podendo-se alternar entre

os modelos e suas variantes para atender a diferentes requisitos de conectividade e de desempenho.

Embora a modularidade do sistema ofereça grande liberdade de personalização e uso otimizado, há limites inerentes às capacidades de processamento, memória e tráfego de rede que devem ser considerados. Por exemplo: ao utilizar cinco ou seis cartões de medição de energia em um mesmo acoplador de rede (módulo remoto), considerando que cada ponto de medição gera cerca de 80 variáveis do tipo real, o limite de tráfego através do meio físico Ethernet (100Mbps) pode ser suficiente para uma taxa de atualização de 1 registro por segundo, mas insuficiente se for superior a isso. Da mesma forma haverá limites de velocidade de gravação em cartões SD, ou mesmo limites de memória do controlador. Essas limitações implicam na eventual necessidade de empregar mais de uma CPU dentro da mesma topologia, dependendo da quantidade de dados a serem processados simultaneamente, não impedindo porém que as múltiplas unidades possam compartilhar um mesmo banco de dados.

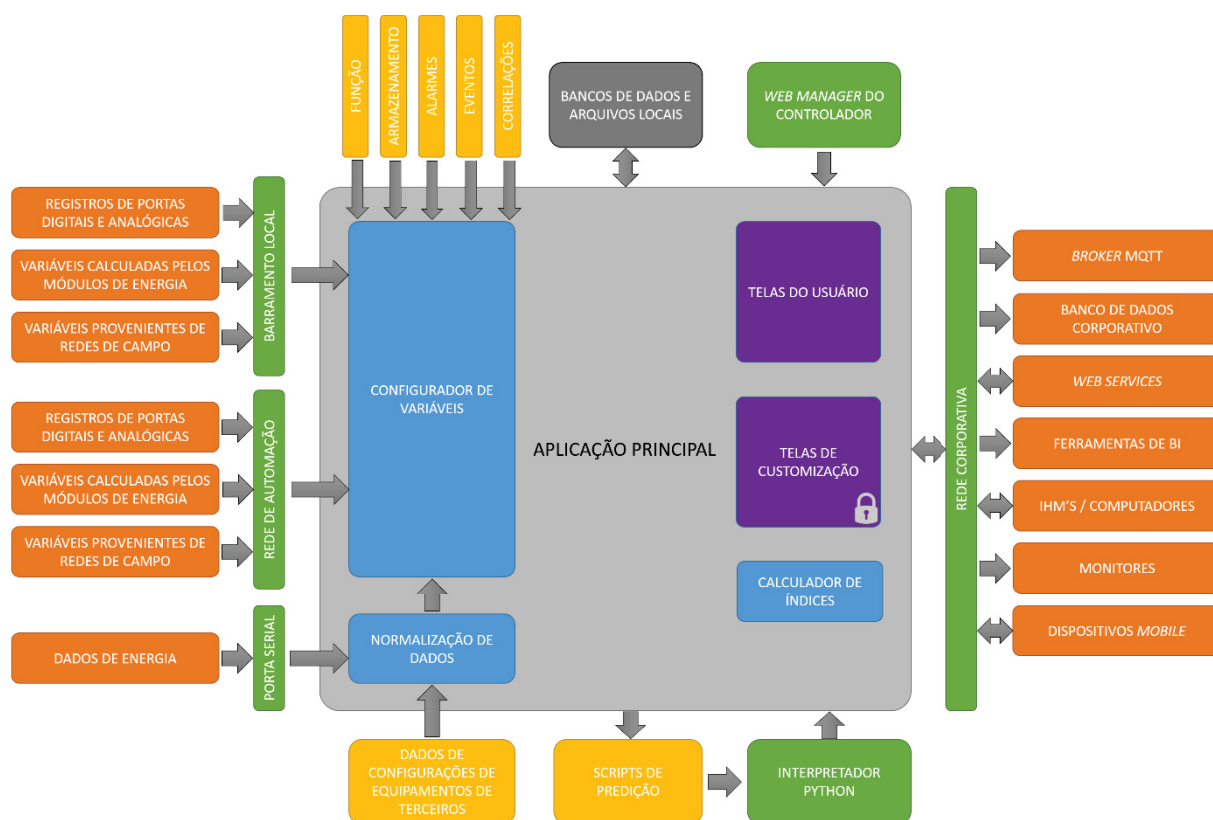
Uma característica fundamental para a viabilidade da solução foi a capacidade do *hardware* de permitir que as duas portas de rede da CPU sejam configuradas para operar em sub-redes separadas, com endereços IP, protocolos e regras de *firewall* totalmente independentes entre si. Uma situação bastante frequente em máquinas industriais é a possibilidade de se obter os dados de produção a partir do próprio controlador do processo, onde este se comunica com uma das portas da CPU em protocolo *Profinet* (controladores Siemens), *EtherNet/IP* (controladores Rockwell) ou Modbus-TCP (controladores *Schneider*). Enquanto isso, a segunda porta de rede da CPU se conecta diretamente ao *broker* MQTT ou ao servidor corporativo para enviar os dados de produção e energia já combinados e formatados. Sem essa segurança intrínseca, o processo produtivo ficaria sujeito a ataques cibernéticos tanto externos quanto internos, o que poderia comprometer a aplicabilidade do conjunto nessas circunstâncias. Já com a separação das redes dentro do controlador IoT, mesmo que o *firewall* da CPU seja quebrado após uma invasão da rede corporativa o controle da máquina permanece seguro.

3.3.2. Arquitetura de *Software*

A FIGURA 8 também sugere que a modularidade do *software* precisa acompanhar a modularidade do *hardware* para se adaptar aos diferentes fluxos de

informação. Uma representação geral dos módulos que integram o *software* é mostrada na FIGURA 9, pela qual depreende-se que a flexibilidade do *software* contém, mas não se limita a, a configuração da FIGURA 8. Observa-se que a arquitetura não prevê uma aplicação a qual se encerra em si mesma, antes prevê sua utilização tanto a partir de fontes alternativas de dados como também para destinos alternativos dos mesmos dados, e embora funções de análise e inteligência artificial possam estar presentes dentro da solução, como já mencionado, pressupõe-se a disponibilidade dos dados para uso com ferramentas independentes de *analytics* e *machine learning*.

FIGURA 9 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO SOFTWARE



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA

O desenvolvimento mais significativo em relação ao modelo anterior, e que possibilita a modularização do *hardware*, foi a criação do módulo “Configurador de Variáveis”. É uma classe relativamente complexa que prevê a configuração pelo próprio usuário (ou de forma assistida) de todos os dados de equipamentos e sensores conectados ao sistema, escolhendo para cada um as definições de:

- a) Tipologia: unidade, escala, função, etc.;

- b) Periodicidade de coleta: com que frequência o dado será registrado;
- c) Forma de armazenamento: banco de dados, planilha CSV, arquivo XML;
- d) Retransmissão para outras plataformas: *broker* MQTT; banco de dados corporativo, e-mail, servidor FTP;
- e) Perfil de usuário que terá acesso: Manutenção, Utilidades, Produção, Diretoria;
- f) Formato de exibição nas telas de interface: tabela, gráfico, texto, etc.;
- g) Valores para alarmes e ações correspondentes: envio de mensagens via rede, sinalização através de saídas digitais, envio de e-mail;
- h) Execução de *scripts* de predição, que por sua vez geram variáveis secundárias, as quais também são configuradas de acordo com o contexto de utilização.

Coube à “Aplicação Principal” realizar ciclicamente a leitura, o tratamento e o direcionamento dos dados para cada interface, de acordo com as configurações estabelecidas. Ela é responsável por executar todas as formas de integração entre as classes do software e também entre essas classes e as interfaces de *hardware*.

O recurso “Telas de Customização” foi necessário para concentrar todas as opções de configuração do programa que dependem da topologia escolhida, sendo portanto configurações fixas enquanto a configuração de *hardware* permanecer inalterada. Diferentemente das “Telas de Usuário”, onde ficam as interfaces para configurar entradas e saídas de dados, valores de alarmes, endereços de e-mail, opções de visualização, etc., as telas de customização são bloqueadas para o usuário e configuradas antes da entrega do produto. Tecnicamente seria possível liberar este acesso para o usuário, porém é provável que o volume de suporte técnico gerado pela complexidade da configuração se tornasse superior ao trabalho da própria configuração. Ademais, constitui uma medida protetiva do negócio que todos os detalhes da configuração inicial sejam de controle exclusivo do fornecedor, como forma de garantir tanto o desempenho do equipamento quanto a monetização, sobretudo quando o fornecimento é feito na modalidade SaaS (*Software as a Service*), em que o usuário paga pelo volume de dados e informações gerados e não pelo equipamento em si.

Uma ponderação importante no conceito do produto diz respeito à propriedade dos dados. Atualmente existem produtos no mercado de IoT onde os sensores criptografam os dados de máquina e se comunicam diretamente com os servidores do fabricante, liberando para o cliente apenas o resultado dos algoritmos. Alguns

exemplos são o Weg MotorScan e o ABB SmartSensor, ambos dedicados à manutenção preditiva de motores elétricos. São tecnologias muito funcionais que atendem bem à finalidade proposta, no entanto, uma parte significativa das empresas, que já implementou ou pretende implementar soluções de IoT, oferece certa resistência a este modelo de solução pois entende que os dados coletados, embora possam ser utilizados pelos fabricantes para fins de estatística e aprimoramento dos algoritmos, pertencem primordialmente à empresa de origem e portanto devem permanecer acessíveis para futuras análises ou usos ainda não definidos. Por essa razão, em todas as variações de configuração do produto há sempre a possibilidade de armazenamento em cartão SD no próprio controlador, em servidores da rede corporativa, ou diretamente em servidores remotos porém sem restrição de acesso aos dados originais pelo proprietário.

3.3.3. Construção Física

Finalmente, a formatação física do equipamento foi redesenhada para aumentar a robustez e corroborar com o conceito de modularidade. Embora um tamanho compacto seja sempre desejável, o ambiente industrial requer que sejam seguidos os mesmos padrões de segurança de qualquer painel elétrico industrial, atendendo às disposições da NBR-5410. Além disso, passou-se a considerar um espaço físico extra, reservado para inclusão de componentes em eventuais *upgrades*. Mas a principal modificação foi a padronização do painel elétrico em AISI-304 (aço inox) com grau de proteção IP66 que, além de obrigatório para instalação em áreas alimentícias, também é indicado para ambientes externos.

A mudança se alinha aos benefícios dos componentes de *hardware* no que concerne a choques, vibrações e variações de temperatura, o que torna o produto compatível com o uso em máquinas e implementos agrícolas, um setor industrial que tem demonstrado grande interesse em soluções de IoT, além de aplicações em portos, sistemas de transporte, geradores eólicos, entre outros.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao introduzir o *Multilogger* no mercado em 2017, a Safety Control inovou no sentido de levar para a indústria uma alternativa *plug & play* para um tipo de solução que normalmente era tratado como projeto de engenharia, com um conceito claro de geração de valor e um foco bem definido. No entanto, já era prevista a necessidade de uma sequência para esse desenvolvimento de acordo com o *feedback* gerado pelas experiências.

O trabalho desenvolvido para a atualização do produto tem o respaldo das demandas expressadas pelo próprio mercado. Permanecem constantes as preocupações dos clientes com certificações, segurança cibernética, flexibilidade e suporte técnico. Dentro dessa perspectiva, fortaleceu-se a opção pelo uso de componentes Wago como base tecnológica para o produto, o que é reforçado pelo conceito de interoperabilidade que vem ganhando força como atributo desejável em tecnologias de automação. Mas a metodologia para as escolhas do projeto foi além das opiniões, embasando-se principalmente nas reações práticas dos utilizadores: em muitos casos o produto, na forma como estava, era utilizado como prova de conceito e para validação da funcionalidade dos componentes, seguindo depois para um projeto individual mais personalizado e retornando assim para o antigo paradigma de projeto de engenharia. Ao flexibilizar a arquitetura e tornar o produto mais customizável, recuperou-se a competitividade necessária para atender às expectativas contemporâneas de usabilidade, rapidez na obtenção de resultados e uso otimizado de recursos.

Em contrapartida, o conceito de multissetorialidade proposto pelas novas funções do *software* implicam em uma mudança de paradigma para a qual muitas empresas ainda não estão completamente preparadas. Para diretores e outros profissionais cuja responsabilidade transcende a divisão de departamentos, fica muito claro o aumento na geração de valor ao promover uma gestão baseada em dados para as equipes de produção, manutenção, projetos e utilidades através da uma única ferramenta. Os níveis mais operacionais, por outro lado, tendem a ser impactados pela exposição dos dados de desempenho e por uma expectativa de ações setoriais que contribuam para resultados globais dentro da organização ou mesmo dentro do ecossistema. Portanto, as ferramentas influenciam na forma de gestão das empresas, logo os fatores humanos precisam levados em conta na estratégia de implantação.

5. CONCLUSÕES

As funções originais do produto voltadas para a gestão da produção continuam tão ou mais funcionais do que antes, porém agora somando-se às novas funções que o tornam um ativo multissetorial, gerando dados que podem ser consumidos também para finalidades de manutenção, eficiência energética e melhoria contínua. Essa mudança de paradigma, em sinergia com os conceitos aplicados de flexibilização da topologia e descentralização da coleta de dados, coloca o sistema em um novo patamar de competitividade.

Atualmente o projeto se encontra na fase de desenvolvimento da aplicação principal, que engloba a interação entre os diversos módulos de *software* e também as novas telas de interface com o usuário. Contudo, todas as eventuais incertezas técnicas inerentes ao projeto já foram superadas, ora pelo apoio da própria Wago que continuamente desenvolve novas bibliotecas de funções a fim de subsidiar os desenvolvimentos, ora pela experiência prática dos inúmeros projetos de engenharia desenvolvidos que já implementaram, isoladamente, praticamente todas as funcionalidades previstas para o produto final.

As adequações e implementações do produto, frente à versão anterior, se justificam por uma melhora significativa no conceito geral da solução, atribuindo-lhe capacidades que geram ainda mais valor para os processos industriais, com total alinhamento às tendências da quarta revolução industrial.

5.1. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Uma vez concluída esta etapa, a previsão de continuidade para o desenvolvimento deste mesmo produto aponta para os seguintes tópicos:

- Implementação de novas topologias, a partir da oferta de controladores com modem 4G incorporado, prevista para o semestre 2/2020;
- Flexibilização na forma de armazenamento dos dados, incluindo bancos de dados não relacionais como InfluxDB e MongoDB;
- Integração com assistentes virtuais e utilização de comandos por voz, com envio e recebimento de mensagens por WhatsApp e Telegram.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGGAWAL, Pallav. **Why Raspberry Pi Isn't a Good Choice for Commercial Products**. All About Circuits. 2019. Disponível em: <<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/10-reasons-raspberry-pi-isnt-a-good-choice-for-commercial-products/>>. Acesso em: 30/07/2020.

ALVES, Sylvio. **Automação Industrial com Raspberry e Arduino**. Venturus. 2019. Disponível em: <<https://www.venturus.org.br/automacao-industrial-com-raspberry-arduino/>>. Acesso em: 29/07/2020.

BENEDICT, Dornic S. **SAP Leonardo Goes Native on WAGO PLC**. SAP Community. 2018. Disponível em: <<https://blogs.sap.com/2018/05/18/sap-leonardo-goes-native-on-wago-plc/>>. Acesso em: 30/07/2020.

Entenda a Importância de Uma Gestão de Ativos Baseada em Dados. ATECH. 2019. Disponível em: <<https://www.atech.com.br/blog/entenda-a-importancia-de-uma-gestao-de-ativos-baseada-em-dados/>>. Acesso em: 28/07/2020.

GIRARDI, Greyci. **ISO 50001: Tudo o Que Você Precisa Saber**. Way2. 2019. Disponível em: <<https://www.way2.com.br/blog/iso-50001>>. Acesso em: 26/07/2020.

GODOI, Maurício. **Agência CanalEnergia**. 2020. Disponível em: <<https://canalenergia.com.br/noticias/53125688/brasil-melhorou-em-14-a-eficiencia-energetica-entre-2005-e-2018>>. Acesso em: 25/07/2020.

LIMA, Flávia. **Eficiência Energética Como Medida de Sustentabilidade**. Revista O Setor Elétrico. 2012. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/eficiencia-energetica-como-medida-de-sustentabilidade/>>. Acesso em: 25/07/2020

SILVESTRE, Luane. **Se Você Não Pode Medir, Não Pode Gerenciar: Aplicando a Teoria de Peter Drucker**. NuvemShop. 2018. Disponível em: <<https://www.nuvemshop.com.br/blog/se-voce-nao-pode-medir-nao-pode-gerenciar-peter-drucker/>>. Acesso em: 27/07/2020.

VIEIRA, Fábio. **Dados Oferecem Mais Precisão à Gestão de Ativos**. Ind4.0 Manufatura Avançada. 2019. Disponível em: <<https://www.industria40.ind.br/artigo/17716-dados-oferecem-mais-precisao-a-gestao-de-ativos>>. Acesso em: 29/07/2020.